

Omaa, ohjelmoitavaa laskinta saa käyttää.

Hyväksytyyn tulokseen vaaditaan vähintään 2 pistettä vähintään neljästä eri tehtävästä sekä yhteensä vähintään 12 pistettä.

1. a) Kerro lyhyesti Townsendin mekanismin kulku sekä selitä ne fysikaaliset ilmiöt, joiden voimakkuutta kuvaavat Townsendin ensimmäinen ja toinen ionisaatiokerroin. (3 p.)
b) Selosta, millaisella koejärjestelyllä voit selvittää Townsendin ensimmäisen ja toisen ionisaatiokertoimen. Perustele vastauksesi sopivilla yhtälöillä ja matemaattisilla tarkasteluilla. (3 p.)
2. a) Selitä, mitä eristeen ominaisuuksia ja eristeessä tapahtuvia ilmiöitä kuvaa eristeen permittiviteetti. Selitä myös, miksi suhteellinen permittiviteetti on kompleksiluku ja mitä sen reaali- ja imaginaariosa kuvaavat. (3 p.)
b) Esitä esimerkkejä (kuvia, laskelmia) siitä, miten eristysmateriaalien permittiviteetti vaikuttaa useammasta materiaalista koostuvan eristysrakenteen jänniterasituksen jakautumiseen ja eristeissä esiintyvään sähkökentänvoimakkuuteen. (3 p.)
3. Tarkastellaan kahdesta eri materiaalista (sisäkkäin) valmistettua lieriöeristysrakennetta, jossa sisäelektrodin säde r_s on 12 mm ja ulkosäde r_u on 36 mm. Eristekerrosten paksuudet on valittu siten, että koko eristysvälin yli vaikuttava jännite jakautuu tasan näiden kahden eri kerroksen yli. Eristysmateriaalien suhteelliset permittiviteetit ovat 4,2 ja 2,4.
a) Millä säteen arvolla eristysmateriaali vaihtuu toiseen? (3 p.)
b) Kuinka suuri on suurin eristerakenteessa vaikuttava hetkellinen kentänvoimakkuus, jos koko eristysrakenteen yli vaikuttaa 80 kV:n vaihtojännite? (3 p.)
4. 22 mm pituisen tasoelektrodivälin kumpaankin elektrodiin (pinta-ala 10 cm^2) on kiinnitetty 10 mm paksuinen eristerkerros (kummassakin elektrodissa samasta materiaalista, $\epsilon_r=4$). Eristeiden väliin jäävässä 2 mm tilassa on SF₆-kaasua normaalipaineessa.
a) Millä koko rakenteen yli olevan jännitteen tehollisarvolla alkavat kaasuvälissä osittaispurkaukset rakenteen yli olevaa vaihtojännitettä (50 Hz) nostettaessa? (3 p.)
b) Osoita graafisesti tai laskelmin, mikä on osittaispurkausten toistumistaajuus jatkuvassa tilassa, kun koko eristerakenteen yli vaikuttaa n. 10 kV:n suurempi vaihtojännite kuin a-kohdan tuloksena saatu jännite. Jäännösjännite purkausten jälkeen oletetaan nolaksi. (3 p.)
5. a) Selosta lyhyesti tehomuuntajan öljypaperieristyksen tärkein vanhenemismekanismi. Mitkä ominaisuudet eristyksen vanhentuessa muuttuvat? Kerro myös, mitkä seikat ja miten vaikuttavat vanhenemista kiihdyttävästi. (3 p.)
b) Selosta lyhyesti metallioksidisuojan toimintaperiaate. Kerro myös, mitä seikkoja on otettava huomioon, kun valitaan metallioksidisuojan tärkeimpiä nimellisarvoja. (3 p.)

Ohessa on liite, jossa on opintojaksoon sisältöön liittyvä yhtälöitä sekä Paschen-käyrät ilmalle ja SF₆-kaasulle.

$$\Psi = \int_A \mathbf{D} \cdot \mathbf{u}_n dA = \int_V \rho_v dV = Q$$

$$\Phi_E = \int_A \mathbf{E} \cdot \mathbf{u}_n dA = \frac{Q}{\epsilon}$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{\rho_v}{\epsilon}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho_v}{\epsilon}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$$

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = 0$$

$$\underline{\epsilon} = \epsilon' - j\epsilon'' = \epsilon \angle -\delta$$

$$i = i_0 \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$$

$$\alpha = A p e^{-B p / E}$$

$$Q_c = \omega \epsilon_r C_0 U^2$$

$$P_d = \omega \epsilon_r \tan \delta C_0 U^2$$

Normaalijakauman summafunktio:

$$F(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{1}{2}z^2\right) dz = \Phi(x), \text{ missä } x = \frac{U - U_{50\%}}{s} \quad \text{ja} \quad s = U_{50\%} - U_{16\%}$$

Normaalijakautuneella suurella todennäköisyyttä p vastaava arvo voidaan arvioida keskiarvosta ja hajonnasta s oheisen taulukon avulla.

$$U_p = U_{50\%} - ks$$

$p/\%$	50	16	10	1	0,1
k	0	1	1,3	2,3	3,3

Weibull-jakauman kertymäfunktio: $P_F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - x_0}{\eta}\right)^\delta\right]$ kun $x > x_0$

$$U_{50\%,LI} = (380 + 150k)d \text{ kV}$$

$$d_{LI} = \frac{U_{10LI}}{0,961 \cdot (0,74 + 0,26 \cdot k) 530} \quad [d] = \text{m}$$

$$U_{50\%,SI} = k \cdot \frac{3400}{1 + \frac{8}{d}} \text{ kV} \quad \text{tai} \quad U_{50\%,SF} = k \cdot 500 d^{0,6} \text{ kV},$$

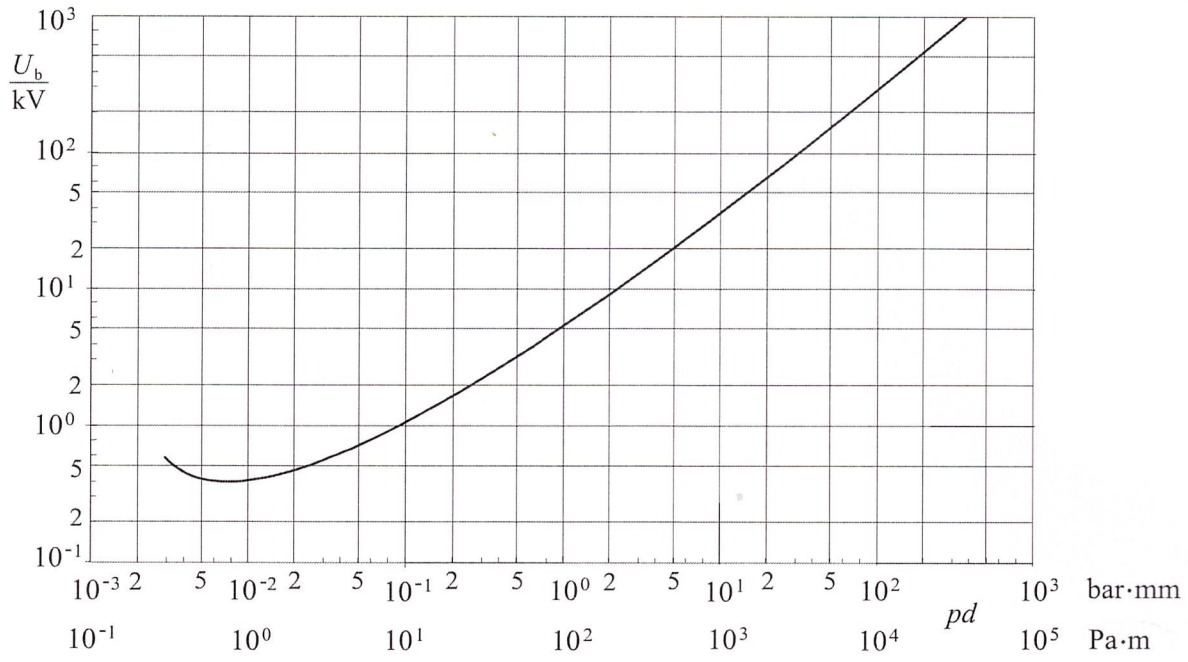
$$d_{SI} = 2,174 \cdot \left[\exp\left(\frac{1,05 U_{e2}}{0,922 \cdot k \cdot 1080}\right) - 1 \right],$$

$$\exp(x) = e^x$$

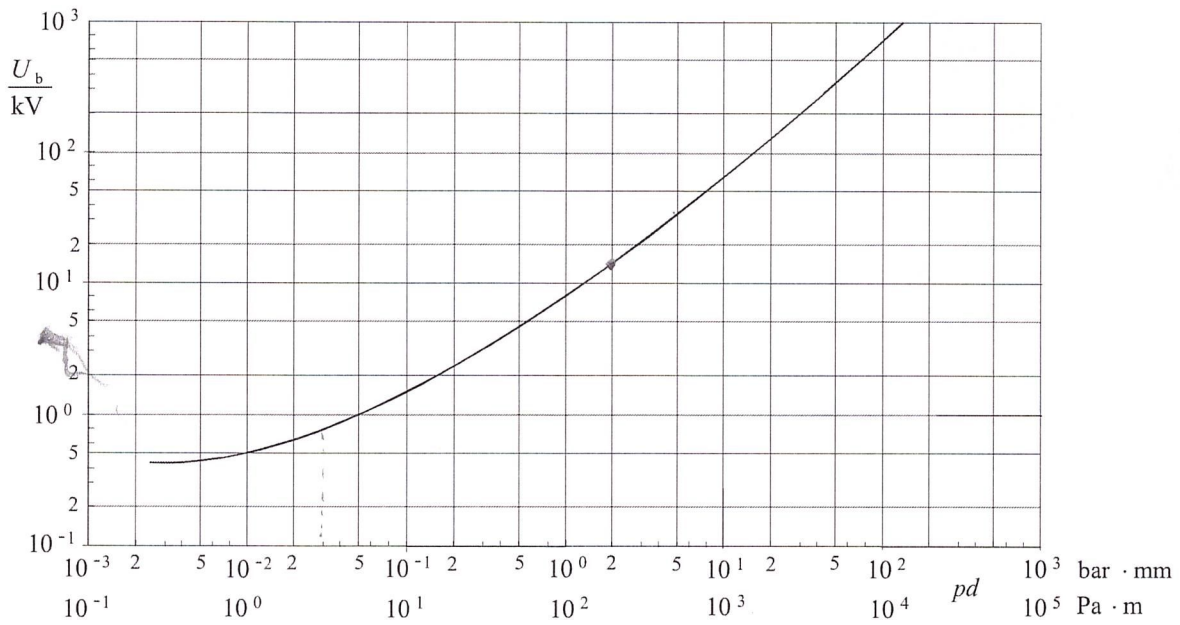
missä U_{e2} on tilastollinen 2% todennäköisyydellä esiintyvä ylijännite

$$\hat{U}_{50\%,AC} = 1,1 \cdot U_{50\%,SI}$$

$$d_{AC} = 1,64 \cdot \left[\exp\left(\frac{U_m}{750 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,91 \cdot k(1,35 - 0,35k)}\right) - 1 \right]^{0,83}$$



Paschen käyrä ilmalle.



Paschen käyrä SF_6 -kaasulle.